



(21) Aktenzeichen: P 35 00 124.0
 (22) Anmelddatum: 4. 1. 85
 (43) Offenlegungstag: 10. 7. 86

(71) Anmelder:

Krauch, Helmut, Prof. Dr., 6900 Heidelberg, DE;
 Bomin-Solar GmbH & Co KG, 7850 Lörrach, DE

(74) Vertreter:

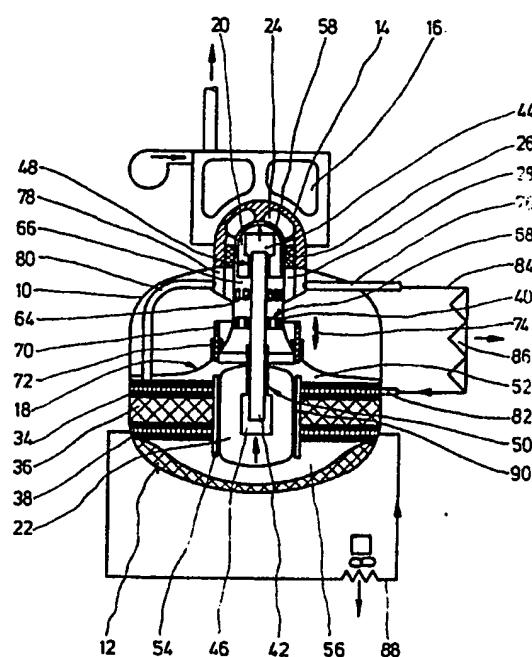
Meyer Graf von Roedern, G., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.,
 Pat.-Anw., 6900 Heidelberg

(72) Erfinder:

Krauch, Helmut, Prof. Dr., 6900 Heidelberg, DE;
 Kleinwächter, Jürgen, Dipl.-Phys.; Delzer, Siegfried.
 Dipl.-Ing., 7850 Lörrach, DE

(54) Durch externe Wärmezufuhr betriebene, dezentrale Versorgungseinheit zur wahlweisen und kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie, Wärme und Kälte

Die Versorgungseinheit arbeitet als Stirlingmotor, dessen Arbeitskolben (22) zur Erzeugung elektrischer Energie mit einem Generator (90) zusammenwirkt. Mittels eines Dosierventils, das insbesondere als Rohrschieberventil (70) ausgebildet sein kann, wird ein nach dem Vuilleumier-Prinzip funktionierender Wärmepumpenkreis zugeschaltet. Bei geschlossenem Dosierventil (70) erfolgt ein reiner Stirling-Betrieb zur elektrischen Energieversorgung. Bei gänzlich geöffnetem Dosierventil hat man einen Wärme oder Kälte bereitstellenden, reinen Vuilleumier-Betrieb. In Zwischenstellungen des Dosierventils erfolgt ein Mischbetrieb, in dem mit einstellbarem Anteil Wärme, Kälte und elektrischer Strom abgegeben wird.



DR. GISO MEYER-ROEDERN
Patentanwalt

D-6900 Heidelberg 13500124
Blumenstraße 1
Tel. 0 62 21 - 16 10 88
Telex 461329 rapat d

Akte PG1134nrw

02. Januar 1985

Prof. Dr. Helmut Krauch
Bergstraße 16
6900 Heidelberg

BOMIN-SOLAR GmbH & Co. KG
Industriestraße 8 - 10
7850 Lörrach - Haagen

Durch externe Wärmezufuhr betriebene, dezentrale Versorgungseinheit zur wahlweisen und kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie, Wärme und Kälte

Ansprüche

1. Dezentrale Versorgungseinheit zur wahlweisen und kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie, Wärme und Kälte mit einem Stirlingmotor, dessen Arbeitskolben (22) zur Erzeugung elektrischer Energie mit einem Generator (90) zusammenwirkt, und mit einem nach dem Vuilleumier-Prinzip funktionierenden, zuschaltbaren und bezüglich seines Energiebeitrags regelbaren Wärmepumpenkreis, in dem der Arbeitskolben (22) liegt.

- 2 -

2. Versorgungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie als Freikolbenmaschine gebaut ist.
3. Versorgungseinheit nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Arbeitskolben (22) Teil eines elektrischen Generators ist.
4. Versorgungseinheit nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Generator ein Lineargenerator (90) ist.
5. Versorgungseinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuschaltung des Vuilleumier-Wärmekreises über ein regelbares Dosierventil erfolgt, das in dem Wärmekreis liegt.
6. Versorgungseinheit nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Dosierventil von einer Schließstellung, die einem reinen Stirling-Betrieb zur elektrischen Energieversorgung zugeordnet ist, über Zwischenstellungen für einen anteiligen Mischbetrieb stetig in eine Offenstellung verstellbar ist, die einem reinen Vuilleumier-Betrieb zur Wärme- und/oder Kälteversorgung zugeordnet ist.

- 3 -

7. Versorgungseinheit nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Dosierventil ein Rohrschieberventil mit einem vorzugsweise axial fluchtend zu der Zylinderlaufbuchse (54) des Arbeitskolbens (22) angeordneten Rohrschieber (70) ist.
8. ^{s/} Versorgungseinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch einen elektrischen Linearantrieb (92), der die Versorgungseinheit bei reinem Vuilleumier-Betrieb antreibt.
9. Versorgungseinheit nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Erregerspule des Linearantriebs (92) auf den Verdrängerkolben (20) des Motors wirkt.
10. Versorgungseinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß sie in einem dem reinen Vuilleumier-Prozeß stark angenäherten Betrieb selbstanspringend und selbstlaufend ist.

DR. GISO MEYER-ROEDERN

Patentanwalt

D-6900 Heidelberg 13500124

Blumenstraße 1

Tel. 0 62 21 - 16 10 88

Telex 461329 rapat d

Akte PG1134nrw

02. Januar 1985

4.
Prof. Dr. Helmut Krauch
Bergstraße 16
6900 Heidelberg

BOMIN-SOLAR GmbH & Co. KG
Industriestraße 8 - 10
7850 Lörrach - Haagen

Durch externe Wärmezufuhr betriebene, dezentrale Versorgungseinheit zur wahlweisen und kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie, Wärme und Kälte

Wegen der starken Umweltbelastung und des relativ kleinen Wirkungsgrades, der effektiv beim Verbraucher zur Verfügung gestellt werden kann, steigen weltweit die Bedenken gegen mit fossilen Brennstoffen gefeuerte Kraftwerke an. Als weitere Nachteile einer zentralen Energieversorgung sind die hohen Verteilungskosten und die Verschandlung der Landschaft durch Hochspannungsleitungen zu erwähnen. Die Verteilung der Kraftwerk-Abwärme zu Heizzwecken ist ebenfalls mit großen Investitionskosten verbunden. Die zentrale Energieversorgung mit entsprechend großen Verteilungsnetzen hat zudem den Nachteil, daß Störungen in den Kraftwerken oder Verteilungsnetzen zu großflächigen Energieversorgungsausfällen führen.

- 2 -
5.

Es besteht daher ein Bedürfnis nach einer kleinen Energieversorgungseinheit, die es bei hohem mechanischem und thermischem Wirkungsgrad erlaubt, elektrische Energie und Wärmeenergie aus möglichst beliebigen Wärmequellen dezentral zu erzeugen, so daß die hohen Investitionskosten für Versorgungsnetze und die Verstellungsverluste entfallen. Die Versorgungseinheit sollte dabei zugleich umweltfreundlich sein, d.h. immissions- und geräuscharm arbeiten.

Aus der DE-OS 33 02 553 ist bereits eine auf dem Vuilleumier-Prozeß basierende Versorgungseinheit zur kombinierten Erzeugung von Wärme, Kälte und elektrischem Strom bekannt, die je nach Bedarf der Beheizung, Klimatisierung und elektrischen Energieversorgung von Wohn-, Geschäfts- oder Fabrikräumen dient. Die Versorgungseinheit weist zwei Wärmekreise auf, in denen je ein Stufenkolben arbeitet. Die Stufenkolben sind über einen Kurbeltrieb mechanisch gekoppelt. Jeder der Stufenkolben teilt drei Zylinderräume ab, wobei je zwei Wärmemengen-abgriffsseitige Zylinderräume in der Größe abgestuft sind. Im Betrieb bildet sich zwischen den kleineren und größeren Zylinderräumen auf der Wärmeabgriffsseite, die jeweils mit

- 3 -

. 6.

einander verbunden sind, ein Differenzdruck aus, der für den Antrieb eines elektrischen Generators genutzt wird. Der Differenzdruck kann durch Öffnen eines Regelventils abgebaut werden. Bei geöffnetem Regelventil läuft ein reiner Vuilleumier-Wärmepumpenprozeß ab, und durch Schließen des Regelventils wird ein mehr oder weniger großer Energieanteil für die elektrische Energieversorgung abgezweigt.

Aufgrund der Tatsache, daß die Kolben mechanisch gekoppelt sind und daß pro Kolben drei Zylinderräume abgeteilt werden, ist diese bekannte Versorgungseinheit konstruktiv recht aufwendig. Auch steht bei ihr ein auf dem Vuilleumier-Prozeß basierender Wärmepumpvorgang im Vordergrund, und die elektrische Energieerzeugung wird nur wahlweise anteilmäßig zugeschaltet. Es besteht daher keine volle Variabilität in Hinsicht auf Art und Anteil der abgegebenen Energie; insbesondere ist ein reiner Versorgungsbetrieb mit elektrischer Energie nicht oder nur mit ungünstigem thermischem Wirkungsgrad möglich.

Nach dem Stand der Technik sind weiterhin Stirlingmotoren bekannt. Auch gibt es Freikoben-Stirlingmotoren. Sie werden

- 4 -

. 7 .

allgemein auf William T. Beale zurückgeführt, der diesen Motortyp in den frühen 60er Jahren an der Ohio University in Athens, USA entwickelte.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine durch externe Wärmezufuhr angetriebene, dezentrale Versorgungseinheit zu schaffen, die bei reibungs- und verschleißarmem, unaufwendigem Aufbau eine größtmögliche Variabilität in der alleinigen und der kombinierten Erzeugung von elektrischer Energie, Wärme und Kälte mit hohem Wirkungsgrad eröffnet.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Versorgungseinheit mit einem Stirlingmotor, dessen Arbeitskolben zur Erzeugung elektrischer Energie mit einem Generator zusammen wirkt, und mit einem nach dem Vuilleumier-Prinzip funktionierenden, zuschaltbaren und bezüglich seines Energiebeitrags regelbaren Wärmepumpenkreis, in dem der Arbeitskolben liegt.

Der erfindungsgemäß verwendete Stirlingmotor bietet aufgrund der externen Wärmezufuhr eine freie Wahl des Energieträgers. Die Wärmeerzeugung kann durch Verbrennung von

- 5 -

8.

flüssigen, gasförmigen und festen Brennstoffen erfolgen. Doch kommt auch die Nutzung anderer Wärmequellen wie z.B. der Sonne, Erdwärme oder nuklearer Reaktionswärme in Betracht. Der Umrüstaufwand bei einem Wechsel der Wärmequelle ist gering. Im Fall einer Verbrennung läuft diese kontinuierlich bei einer konstanten, hohen Temperatur ab. Dadurch ist ein hoher thermischer Wirkungsgrad zu erzielen. Weiterhin kann die Verbrennung bei konstantem Druck, insbesondere Normaldruck, und in einem beliebigen Luftüberschuß erfolgen. Die Schadstoffimmission ist entsprechend gering; sie liegt beispielsweise für Stickoxide bei weniger als einem Zehntel der für Explosionsmotoren gängigen Werte.

Aufgrund seines geschlossenen Arbeitskreises mit einer annähernd sinusförmigen Druckkurve und der Abwesenheit von hartschlagenden Ventilen zeichnet sich der Stirlingmotor durch einen praktisch vibrationsfreien, geräuscharmen Lauf aus. Der Arbeits- und Verdrängerkolben und das Gehäuse des Motors schwingen so, daß ihr gemeinsamer Schwerpunkt in Ruhe bleibt; der Motor ist also maschinell ausgeglichen. Durch den hermetischen Abschluß des Arbeitskreises ist der Stirlingmotor schmierfrei und in der Wartung anspruchslos.

- 6 -

9.

Weiterhin sind das vorteilhafte Startverhalten insbesondere des Freikolben-Stirlingmotors und sein hoher thermischer Wirkungsgrad bei Teillastbetrieb zu erwähnen.

Auch der erfindungsgemäß zuschaltbare Vuilleumier-Wärmepumpenkreis zeichnet sich durch einen wesentlich besseren thermischen Wirkungsgrad aus, als er mit herkömmlichen, elektromotorgetriebenen Wärmepumpen zu erreichen ist. Man bedenke, daß die zum Treiben des Elektromotors erforderliche ^{k/}elektrische Energie in konventionellen Wärmekraftwerken unter Einbeziehung der Übertragungsverluste mit einem Wirkungsgrad von höchstens 30% zur Verfügung gestellt wird. Die dezentralisierte direkte Verbrennung in einer geräusch- und emissionsarmen Einheit ist wesentlich effektiver. Die Vuilleumier-Wärmepumpe hat die für den Stirlingmotor genannten Vorteile einer externen Wärmezu-fuhr, insbesondere externen Verbrennung, und eines geschlossenen Gaskreises. Sie ist für einen Betrieb als Wärme- und Kältemaschine gleichermaßen gut geeignet, und sie kann insbesondere in flexibler Weise zur Heizung und Klimatisierung eines Gebäudes dienen.

- 7 -
10.

Die erfindungsgemäße Versorgungseinheit vereinigt in sich die Vorteile eines zur elektrischen Energieversorgung dienenden Stirlingmotors und einer Vuilleumier-Wärme-pumpe. Es ist ein reiner Stirling-Betrieb möglich, bei dem vorwiegend elektrische Energie und daneben Abwärme erzeugt wird. Ebenso kann auch ein reiner Vuilleumier-Betrieb realisiert werden, bei dem die Versorgungseinheit nur als Wärme- bzw. Kältemaschine arbeitet, und schließlich ist durch partielles Zuschalten des Vuilleumier-Kreises auch ein Mischbetrieb möglich, bei dem zu beliebig wählbaren Anteilen elektrische Energie, Wärme und Kälte bereitgestellt wird. In allen Betriebsformen arbeitet die Versorgungseinheit höchst umweltfreundlich mit externer Wärmezufuhr, insbesondere externer Verbrennung. Die Versorgungseinheit kommt mit einem einzigen geschlossenen Gaskreis aus, was sie konstruktiv relativ unaufwendig macht.

In einer bevorzugten Bauform der Erfindung ist die Versorgungseinheit als Freikolbenmaschine aufgebaut. In der Freikolbentechnik entfallen Kurbelwellen, Taumelscheiben-triebe o.ä. Mittel zur mechanischen Koppelung und Kraft-abnahme an den Kolben der Arbeitsmaschine. Es treten keine

- 8 -

. 11.

verschleißenden Querkräfte an den Kolben auf, so daß man mit dynamischer Gaslagerschmierung ohne flüssige Schmiermittel auskommt. Die Kolben schwingen reibungs- und verschleißarm auf Gaspolstern, deren Federkraft ausgenutzt wird, und die Kolbenbewegung beruht allein auf Gasdruckänderungen. Die Freikolbenmaschine hat daher einen höchst einfachen mechanischen Aufbau und entsprechend niedrige Gestaltungskosten. Sie bietet überdies weniger Dichtungsprobleme als z.B. konventionelle Stirlingmotoren, und sie arbeitet mit extrem langen Wartungsintervallen höchst zuverlässig und praktisch geräuschfrei. Der Gütegrad der Freikolbenmaschine kommt mit ca. 65% dem idealen Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses sehr nahe. Die Freikolbentechnik bietet die Möglichkeit, selbst in kleinsten Einheiten ähnliche Wirkungsgrade zu erreichen, wie bei konventionellen Großkraftwerken.

Die Erfindung sieht weiterhin vor, den Arbeitskolben der Versorgungseinheit unmittelbar mit einem elektrischen Generator z.B. in Form eines Lineargenerators zu koppeln. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Motorbewegung direkt in elektrische Energie umzusetzen. Die Verluste sind entsprechend gering, und der Wirkungsgrad hoch.

- 9/-
· 12 ·

Das Zuschalten des Vuilleumier-Wärmekreises kann in besonders einfacher, unaufwendiger Weise über ein Dosierventil erfolgen, das in dem Wärmekreis liegt. Das Dosierventil kann insbesondere von einer Schließstellung, die einem reinen Stirling-Betrieb zur elektrischen Energieversorgung zugeordnet ist, über Zwischenstellungen für einen anteiligen Mischbetrieb stetig in eine Offenstellung verstellbar sein, die einem reinen Vuilleumier-Betrieb zur Wärme- und/oder Kälteversorgung zugeordnet ist. Der Anteil der jeweils abgegebenen Energiearten wird so einfach über den Durchtrittsquerschnitt eines Ventils geregelt, der sich präzise und bequem einstellen läßt. In einer unaufwendigen, herstellungs- und montage-technisch besonders praktischen Bauform ist in dem Zylinderraum des Stirlingmotors ein Rohrschieberventil angeordnet, und zwar vorzugsweise koaxial zu dem Arbeitskolben.

Im reinen Vuilleumier-Betrieb erzeugt die Versorgungseinheit keine oder nur geringe mechanische Energie, so daß in der Regel ein externer Antrieb der Kolben erforderlich ist. Dieser wird vorzugsweise in Form eines elektrischen Linearantriebs bereitgestellt. Man kann beispielsweise den mit dem Stirlingmotor gekoppelten Lineargenerator umgekehrt als

13.

Linearmotor betreiben. Aus Gründen der anschluß- und schaltungstechnischen Vereinfachung ist es aber sinnvoll, einen separaten elektrischen Linearantrieb für einen reinen Vuilleumier-Betrieb vorzusehen, wobei insbesondere eine Erregerspule auf den Verdrängerkolben des Stirlingmotors wirken kann. Doch besteht auch die Möglichkeit, die Versorgungseinheit in einem dem reinen Vuilleumier-Prozeß stark angenäherten Betrieb selbstanspringend und selbstlaufend zu gestalten, indem man die Systemdynamik insbesondere durch geeignete Abstimmung von Kolbenflächen entsprechend optimiert.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines keineswegs einschränkend zu verstehenden Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen; insbesondere ist auch jede andere als die dargestellte Ausführung der Freikolbentechnik möglich. Teilweise schematisch zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch eine Versorgungseinheit gemäß der Erfindung;

Fig. 2 den Arbeitstakt der Versorgungseinheit, wobei
a-d diese größtenteils durch einen Schaltplan wie-
dergegeben ist;

Fig. 3 ein Blockschaltbild der Versorgungseinheit
einschließlich ihres elektrischen Teils.

Bezugnehmend auf Fig. 1, hat die erfindungsgemäße Versorgungseinheit ein Gehäuse 10 mit einem äußeren Wärmeisolationsmantel 12. An der Oberseite des Gehäuses 10 befindet sich ein Stirlingkopf 14 mit einem Öl- oder Gasbrenner 16, der als äußere Wärmequelle die zum Betrieb der Versorgungseinheit erforderliche Energie liefert. Im Innern des Gehäuses 10 befindet sich eine durch die Wand 18 begrenzte Kolben-Zylinder-Einheit mit Laufbereichen für zwei Kolben, nämlich einen Verdrängerkolben 20 und einen Arbeitskolben 22. Den beiden Kolben 20, 22 ist je ein thermodynamischer Arbeitskreis zugeordnet, in dem ein Fluid durch Wärmetauscher 24, 28 bzw. 34; 38 und einen zwischen den Wärmetauschern liegenden Regenerator 26 bzw. 36 transportiert wird. Die Arbeitskreise sind fluidisch gekoppelt und nach außen hermetisch abgeschlossen. Als Arbeitsmedium dient vorzugsweise Helium bei einem Druck zwischen ca. 10 und 50 bar, das mit einer einmaligen Füllung in den Zylinder eingebracht wird.

. 15 .

- 12 -

Die Versorgungseinheit gemäß Fig. 1 ist in Freikolbentechnik aufgebaut. Die beiden Kolben 20, 22 sind also nicht getriebemäßig gekoppelt, und es erfolgt auch keine mechanische Energieabnahme von den Kolben.

Vielmehr kann, wie noch nachstehend dargelegt, der Arbeitskolben 22 Teil eines elektrischen Linearantriebs sein, so daß seine Bewegung unmittelbar in elektrische Energie umgesetzt wird, und auch der Verdrängerkolben 20 kann mittels eines elektrischen Linearantriebs bewegt werden. Im übrigen schwingen die Kolben 20, 22 nur auf Gaspolstern, deren Federkraft ausgenutzt wird, und sie werden ausschließlich durch Gasdruckänderungen bewegt.

Der Zylinderraum der Kolben-Zylinder-Einheit wird durch eine Zwischenwand 40 in zwei axial hintereinander liegenden Abschnitte geteilt, von denen einer als Hubraum des Verdrängerkolbens 20, und der andere als Hubraum des Arbeitskolbens 22 dient. An der Zwischenwand 40 ist eine Führungsstange 42 gehaltert, die sich mittig und axial durch den Zylinderraum erstreckt. Die Führungsstange 42 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel starr mit der Zwischenwand 40 verbunden. Es ist aber auch eine Bauform möglich, bei der die Führungsstange 42 ebenfalls in

dem Motorgehäuse schwingt. Der Verdrängerkolben 20 und der Arbeitskolben 22 sind beide als Hohlkolben ausgebildet. Sie weisen jeweils einen inneren Hohlraum 44, 46 von beispielsweise rechteckigem Querschnitt auf. Der Hohlraum 44 des Verdrängerkolbens 20 ist über eine mittige Axialbohrung 48 mit der dem Arbeitskolben 22 zugewandten Kolbenstirnfläche verbunden. Die Axialbohrung 48 ist gegenüber dem Hohlraum 44 im Querschnitt verjüngt, so daß sie eine halsartige Verengung bildet. In die Axialbohrung 48 taucht die Führungsstange 42 unter Abdichtung ein. Der Verdrängerkolben 20 ist auf der Führungsstange 42 axial verschiebbar gelagert. Ein in dem Hohlraum 44 eingeschlossenes Gasvolumen wird von der kolbenartig wirkenden Führungsstange 42 komprimiert, wodurch eine Pufferwirkung nach Art einer Gasfeder erzielt wird.

In ganz ähnlicher Weise ist auch der Arbeitskolben 22 auf der Führungsstange 42 abgefedert gelagert. Der zugehörige Hohlraum 46 wird von einer mittigen Axialbohrung getroffen, die an die dem Verdrängerkolben 20 zugewandte Stirnfläche des Arbeitskolbens 22 führt. In die Axialbohrung ist eine Gleitbuchse 50 eingesetzt, die über die Stirnseite des Arbeitskolbens 22 hinausragt. Die Führungsstange 42 taucht in diese Gleitbuchse 50 ein, und sie beaufschlägt kolben-

artig ein in dem Hohlraum 46 befindliches Gasvolumen, das als Gasfeder wirkt.

Der dem Arbeitskolben 22 zugeordnete Abschnitt des Zylinderraums ist gegenüber dem Abschnitt, in dem der Verdrängerkolben ^{20/} arbeitet, im Querschnitt erheblich erweitert. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel weist hierzu die Wand 18 des Zylinderraums eine nach außen gewölbte Partie auf, die etwa auf Höhe der Zwischenwand 40 beginnt und zum Arbeitskolben 22 hin radial ausläuft, bis sie die Außenwand des Gehäuses 10 trifft. Diese Wandpartie begrenzt einen Expansionsraum 52 in dem thermodynamischen Arbeitskreis des Arbeitskolbens 22. Der Arbeitskolben 22 ist in einer Zylinderlaufbuchse 54 geführt, deren lichte Weite wesentlich geringer ist, als die des Expansionsraums 52, und die mittig und axial im Innern des Zylinderraums liegt. Zwischen dem Außenmantel der Zylinderlaufbuchse 54 und der Außenwand des Gehäuses 10 erstrecken sich in ringförmiger Anordnung die zu dem Arbeitskreis des Arbeitskolbens 22 gehörigen Wärmetauscher 34, 38 und der dazwischen befindliche, ebenfalls ringförmige Regenerator 36. Das Unterteil des Gehäuses 10 wird von einem großvolumigen Kompressionsraum 56 eingenommen, der den Arbeitskreis des

Arbeitskolbens 22 vervollständigt. Die Zylinderlaufbuchse 54 ragt über eine gewisse Länge in den Kompressionsraum 56 hinein, wobei sie im Abstand zu dessen Boden endet.

Der Arbeitskolben 22 ist in Fig. 1 in einer Mittelstellung, und der Verdrängerkolben 20 in der oberen Endlage seines Hubs dargestellt. Entsprechend hat ein in dem Arbeitskreis des Verdrängerkolbens 20 liegender Expansionsraum 58 sein kleinstmögliches Volumen. Der Expansionsraum 58 wird von einer halbkugelig gewölbten Stirnwand des Zylinderraums begrenzt, und entsprechend weist auch das dem Arbeitskolben 22 abgewandte, obere Ende des Verdrängerkolbens 20 eine Kugelkuppenform auf. Der Expansionsraum 58 kommuniziert mit einem Heißraum 24 in dem Stirlingkopf 14, der in axialsymmetrischer Anordnung als Ringraum auf der Kuppe des Zylinders vorgesehen ist. Der Heißraum 24 wird von den heißen Gasen des Brenners 16 auf eine Temperatur von beispielsweise ca. 600°C erwärmt. Er stellt den Wärmetauscher auf der heißen Seite des thermodynamischen Arbeitskreises dar, in dem der Verdrängerkolben 20 liegt. Unterhalb des Heißraums 24 schließen sich der Regenerator 26 und ein Kaltraum 28 dieses Arbeitskreises an, wobei letzterer den Wärmetauscher auf der

19.

- 16 -

K/
altseite darstellt. Regenerator 26 und Kaltraum 28 sind jeweils in koaxialer Anordnung auf der Außenseite des Zylinders angeordnet. Im unteren Bereich des Kaltraums 28 ist die Zylinderwand mit einem Kranz von Durchbrechungen 64 versehen, durch die der Kalt- raum 28 mit einem Kompressionsraum 66 kommuniziert. Der Kompressionsraum 66 ist Teil des Verdrängerkol- ben-Arbeitskreises. Er wird von einer ebenen Stirnflä- che des Verdrängerkolbens 20 begrenzt.

Die Zwischenwand 40 ist mit möglichst großen Durch- brüchen 68 versehen, durch die der Kompressionsraum 66 des Verdrängerkolbens 20 mit dem Expansionsraum 52 des Arbeitskolbens 22 kommuniziert. Gegebenenfalls kann die Zwischenwand 40 auch ganz entfallen, da in der Freikol- bentechnik auch andere, dynamische Lösungen möglich sind.

An der sich radial erweiternden Partie der Zylinderwand 18 unterhalb der Zwischenwand 40 befindet sich ein Rohrschie- berventil. Ventilglied ist ein kreiszylindrischer, koaxial bezüglich der Zylinderlängsachse angeordneter Rohrschieber 70. Seine Führung und Abdichtung sind schematisch durch einen

umlaufenden Kragen 72 an der Außenseite des Zylinders angedeutet. Der Durchmesser des Rohrschiebers 70 entspricht dem der Zylinderlaufbuchse 54. Der Rohrschieber 70 kann in Pfeilrichtung 74 axial verschoben werden. Man kann ihn völlig aus dem Zylinderraum herausziehen, so daß eine ungehinderte Gaszirkulation möglich ist. Weiterhin kann man ihn auch ganz in den Zylinderraum einschieben, wobei er stirnseitig an der Zylinderlaufbuchse 54 zu liegen kommt und jede Gaszirkulation in dem Arbeitskreis des Arbeitskolbens 22 sperrt. Schließlich kann der Rohrschieber 70 auch Mittelstellungen einnehmen, in denen ein mehr oder weniger großer Gasdurchtrittsquerschnitt verbleibt; eine solche Mittelstellung ist in Fig. 1 gezeigt.

Der Wärmetauscher 28 auf der Kompressionsseite des Verdrängerkolbens 20 und der Wärmetauscher 34 auf der Expansionsseite des Arbeitskolbens 22 liegen in einem gemeinsamen Kühlkreislauf, z.B. einem Kühlwasserkreis. Man erkennt den Kühlwasseranschluß 76 eines Wassermantels 78, der den Kaltraum 62 des Verdrängerkolbenkreises umgibt. Von dem Wassermantel 78 führt eine in dem Gehäuse 10 enthaltene Leitung 80 an den Wärmetauscher 34 des Arbeitskolbenkreises, der seinerseits einen nach außen führenden

Anschuß 82 besitzt. Der Kühlwasserkreis wird durch eine Hausleitung 84 geschlossen, in der wenigstens ein zur Abnahme von Nutzwärme dienender Wärmetauscher 86 liegt. Der Kühlkreis kann insbesondere für eine Gebäudeheizung oder zur Warmwasser bereitung herangezogen werden. Seine Arbeitstemperatur kann beispielsweise bei ca. 60°C liegen. Neben der dargestellten Ausführung sind aber auch diverse andere Schaltungen der Wärmetauscher möglich.

Die Kompressionsseite des Arbeitskolbenkreises liegt auf einer niedrigeren Temperatur, die z.B. ca. 0°C betragen kann. Diese Temperatur wird in einem weiteren Kreis 88 bereitgestellt, in dem der kompressionsseitige Wärmetauscher 38 des Arbeitskolbenkreises liegt..

Der Kreis 88 kann nach Art üblicher Wärmepumpenkreise aufgebaut sein und z.B. dem Erdreich, dem Grundwasser usw. Wärmeenergie bei niedriger Temperatur entziehen. Auch kann der Kreis 88 als Kältekreis ausgelegt sein, der z.B. zu Klimatisierungszwecken nutzbare Kälte an die Umgebung abgibt. In diesem Fall wird die Betriebstemperatur des Kreises 88 vorzugsweise etwas tiefer eingestellt, z.B. bei -10°C.

Die erfindungsgemäße Versorgungseinheit besitzt also eine heiße, eine warme und eine kalte Temperaturzone. Energie wird primär auf der heißen Seite in das System gesteckt, und zwar durch kontinuierliche, externe Verbrennung von Öl oder Gas in dem Brenner 16. Es versteht sich aber, daß auch andere Brennstoffe verwendet und allgemein in flexibler Weise beliebige Wärmeenergiequellen genutzt werden können. Die kontinuierliche, externe Verbrennung lässt sich schadstoff- und geräuscharm in einem beliebigen Luftüberschuß durchführen.

Der in Fig. 1 nicht gezeigte elektrische Teil der erfindungsgemäßen Versorgungseinheit kann Fig. 3 entnommen werden. Demnach wird die Bewegungsenergie des Arbeitskolbens 22 zur Energieerzeugung in einem elektrischen Generator ausgenutzt. In der bevorzugten Freikolbentechnik kann der Arbeitskolben 22 insbesondere Teil eines elektrischen Lineargenerators 90 sein. Der Lineargenerator setzt die Bewegungsenergie des Arbeitskolbens 22 unmittelbar und verlustarm in elektrische Energie um.

Weiterhin ist ein elektrischer Linearantrieb 92 vorhanden, der in dem dargestellten Ausführungsbeispiel auf den Ver-

drängerkolben 20 wirkt und geeignet ist, diesen in oszillierende Bewegung zu versetzen. Hierbei wird Energie in die Versorgungseinheit gesteckt. Ein solcher Linearantrieb ist aber nicht zwingend erforderlich. Vielmehr kann die erfindungsgemäße Versorgungseinheit für einen dem reinen Vuilleumier-Prozeß stark angenäherten Betrieb auch selbstanspringend und selbstlaufend sein. Der Linearantrieb 92 und der Lineargerator 90 sind jeweils mit Erregerspule aufgebaut, so daß ein völliges Ausblenden aus der Maschinendynamik möglich ist. Der Linearantrieb 92 des Verdrängerkolbens 20 kann $\pm 5\%$ der Generatorleistung benötigen.

Wie schon erwähnt, sind der thermodynamische Verdrängerkolbenkreis und Arbeitskolbenkreis durch eine Strömungsverbindung zwischen dem Kompressionsraum 56 des Verdrängerkolbens und dem Expansionsraum 58 des Arbeitskolbens gekoppelt. Letztere Räume bilden einen einheitlichen Zylinderraum. Dieser ist mit den anderen Zylinderräumen 52, 66 über die thermischen Regeneratoren 26, 36 verbunden, so daß in jedem Teilvolumen, sieht man von den Strömungsverlusten ab, zu jeder Zeit derselbe Druck des Arbeitsgases herrscht. Die Regeneratoren 26, 36 nehmen bei einem Transport von Gas aus dem jeweils wärmeren in den kälteren Teil

Wärme auf, und sie geben bei umgekehrter Gasströmung aus dem jeweils kälteren in den wärmeren Teil Wärme an das Arbeitsgas ab.

Verdrängerkolben 20 und Arbeitskolben 22 oszillieren mit einer Phasenverschiebung von ca. 90° , die sich durch die Massenverteilung und die Druckverhältnisse insbesondere in den Gasfederalvolumina einstellt. Nach Aufbau einer genügend großen Temperaturdifferenz springt die Maschine selbsttätig oder durch einen schwachen externen Anstoß z.B. unter Verwendung des Linearantriebs 92 an. Der Arbeitskolben 22, der Verdrängerkolben 20 und das Gehäuse des Motors schwingen so, daß ihr gemeinsamer Schwerpunkt in Ruhe bleibt. Hierdurch ergibt sich ein geräusch- und erschütterungsfreier Lauf, und die direkte Energieerzeugung in einem elektrischen Lineargenerator stellt sich besonders vorteilhaft dar.

Der Arbeitstakt der Versorgungseinheit ist in Fig. 2 illustriert. Zum einfachen Verständnis des Funktionsablaufs möge der Verdrängerkolben dem Arbeitskolben um $\pi/2$ vorausseilen, doch sind auch andere Phasenverschiebungen möglich. In Fig. 2 (a) ist der Arbeitskolben 22

am unteren Umkehrpunkt seines Hubs. Der Verdrängerkolben 20 eilt dem Arbeitskolben 22 um ca. 90° voraus und beginnt, das heiße Gas aus dem Expansionsraum 58 in den Kompressionsraum 66 herüberzuschieben. Damit entsteht in dem Kompressionsraum 66 ein Unterdruck, da sich mehr Gas im kalten Bereich des Systems befindet. Die Druckkräfte sorgen dafür, daß der Arbeitskolben 22 nach oben beschleunigt wird. In dieser Phase wird noch Wärme in den Wärmetauscher 34 abgeführt.

Fig. 2(b) zeigt die auch in Fig. 1 illustrierte Kolbенstellung. Der Arbeitskolben 22 hat sich in eine Mittelposition nach oben bewegt und Arbeitsgas aus dem mittleren Zylinderraum in den Kompressionsraum 56 geschoben. Der Verdrängerkolben 20 befindet sich am oberen Umkehrpunkt, und er hat das heiße Gas vollständig aus dem Expansionsraum 58 in den Kompressionsraum 66 verdrängt.

In Bild 2(c) befindet sich der Arbeitskolben 22 am oberen Totpunkt. Der Verdrängerkolben 20 ist um 90° vorausseilend in seiner Mittelposition, und er schiebt nun kaltes Arbeitsgas über den Kühler 28, Regenerator 26 und Erhitzer 24 in den Expansionsraum 58. Die resultierende Druckerhöhung sorgt dafür, daß der Arbeitskolben 22 nach unten beschleunigt wird.

In Bild 2(d) schließlich ist der Verdrängerkolben 20 an seinen unteren Totpunkt zurückgeschwungen. Der Arbeitskolben 22 ist auf dem Weg zu seinem unteren Umkehrpunkt, von dem er durch Unterdruck in dem Gasferraum 46 und durch den vom Verdrängerkolben 20 in den Zylinderräumen 66 und 56, 58 erzeugten Unterdruck nach oben beschleunigt wird.

Die erfindungsgemäße Versorgungseinheit kann durch das Rohrschieberventil 70 so geschaltet werden, daß zwei unterschiedliche Grundmaschinentypen verwirklicht werden. Ist das Rohrschieberventil geschlossen, so ist die Maschine ein der elektrischen Energieerzeugung dienender Stirlingmotor, in dem der Kolben 20 als Verdrängerkolben, und der Kolben 22 als Arbeitskolben fungiert. In dem Motorgehäuse werden annähernd sinusförmige Druckschwankungen aufgebaut, die zum Antrieb des Arbeitskolbens 22 dienen. Die Bewegungsenergie des Arbeitskolbens 22 wird durch einen elektrischen Generator z.B. in Form des Lineargenerators 90 anteilig in elektrische Energie umgesetzt.

Ist dagegen das Rohrschieberventil 70 voll geöffnet, so arbeitet die erfindungsgemäße Versorgungseinheit als reine Vuilleumier-Maschine in Freikolbenbauweise. Es wird nur Wärme oder Kälte und keine mechanische und elektrische Energie bereitgestellt. Vielmehr benötigt die Maschine externe Antriebsenergie, die vorteilhaf-terweise über den Linearantrieb 92 eingespeist wird. Wie schon erwähnt, kann die Versorgungseinheit aber auch durch eine geringe Abweichung vom reinen Vuil- leumier-Prozeß selbstlaufend gebaut werden und den da-für erforderlichen kleinen Anteil mechanischer Energie selbst liefern. Die Vuilleumier-Maschine kann als Wärme-pumpe sowohl heizen, als auch kühlen.

Hat das Rohrschieberventil 70 eine Zwischenstellung, so wird eine Betriebsform erreicht, die zwischen den Extre-men der Stirling- und Vuilleumier-Maschine liegt. Dabei wird die Bewegungsenergie des Arbeitskolbens 22 anteilig in dem elektrischen Generator und in dem Wärmepumpenteil genutzt. Die jeweiligen Energieanteile lassen sich durch Verschieben des Rohrschiebers 70 beliebig regeln. Man kann so auf einfache Art und Weise entsprechend dem Bedarf elektrische Energie, Wärme oder Kälte erzeugen. Hierbei kann elektrische Energie mit Wirkungsgraden von über 40%

erzeugt werden. Das Arbeitsgas Helium erlaubt selbst bei tiefen Temperaturen noch einen guten Wirkungsgrad, was mit herkömmlichen Wärmepumpen nicht erzielt werden kann.

Die Erfindung eröffnet somit die Möglichkeit, mit einer sehr kompakten Einheit sowohl den Wärme- als auch den Kühlbedarf wie auch den elektrischen Energiebedarf im Haus- und Wohnbereich sowie in kleinen und mittleren Betrieben aller Art zu decken. Die beschriebene Versorgungseinheit ist ohne technische Änderung für Kühlhäuser, Hausheizung und Warmwassererzeugung verwendbar. Die Erfindung gestattet auch eine Kälteerzeugung bei sehr tiefen Temperaturen, sowie die Erzeugung von industrieller Prozeßwärme höherer Temperatur.

26
29

3500124

Liste der Bezugszeichen

10 Gehäuse	64 Durchbrechung
12 Wärmeisolationsmantel	66 Kompressionsraum
14 Stirlingkopf	68 Durchbruch
16 Brenner	70 Rohrschieber
18 Wand	72 Kragen
20 Verdrängerkolben	74 Pfeil
22 Arbeitskolben	76 Kühlwasseranschluß
24 Wärmetauscher (Heißraum)	78 Wassermantel
26 Regenerator	80 Leitung
28 Wärmetauscher (Kaltraum)	82 Anschluß
34 Wärmetauscher	84 Hausleitung
36 Regenerator	86 Wärmetauscher
38 Wärmetauscher	88 Kreis
40 Zwischenwand	90 Generator
42 Führungsstange	92 Linearantrieb
44, 46 Hohlraum	
48 Axialbohrung	
50 Gleitbuchse	
52 Expansionsraum	
54 Zylinderlaufbuchse	
56 Kompressionsraum	
58 Expansionsraum	

· 30 ·
- Leerseite -

Nummer:
Int. Cl.⁴:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

35 00 124
F 02 G 1/043
4. Januar 1985
10. Juli 1986

33

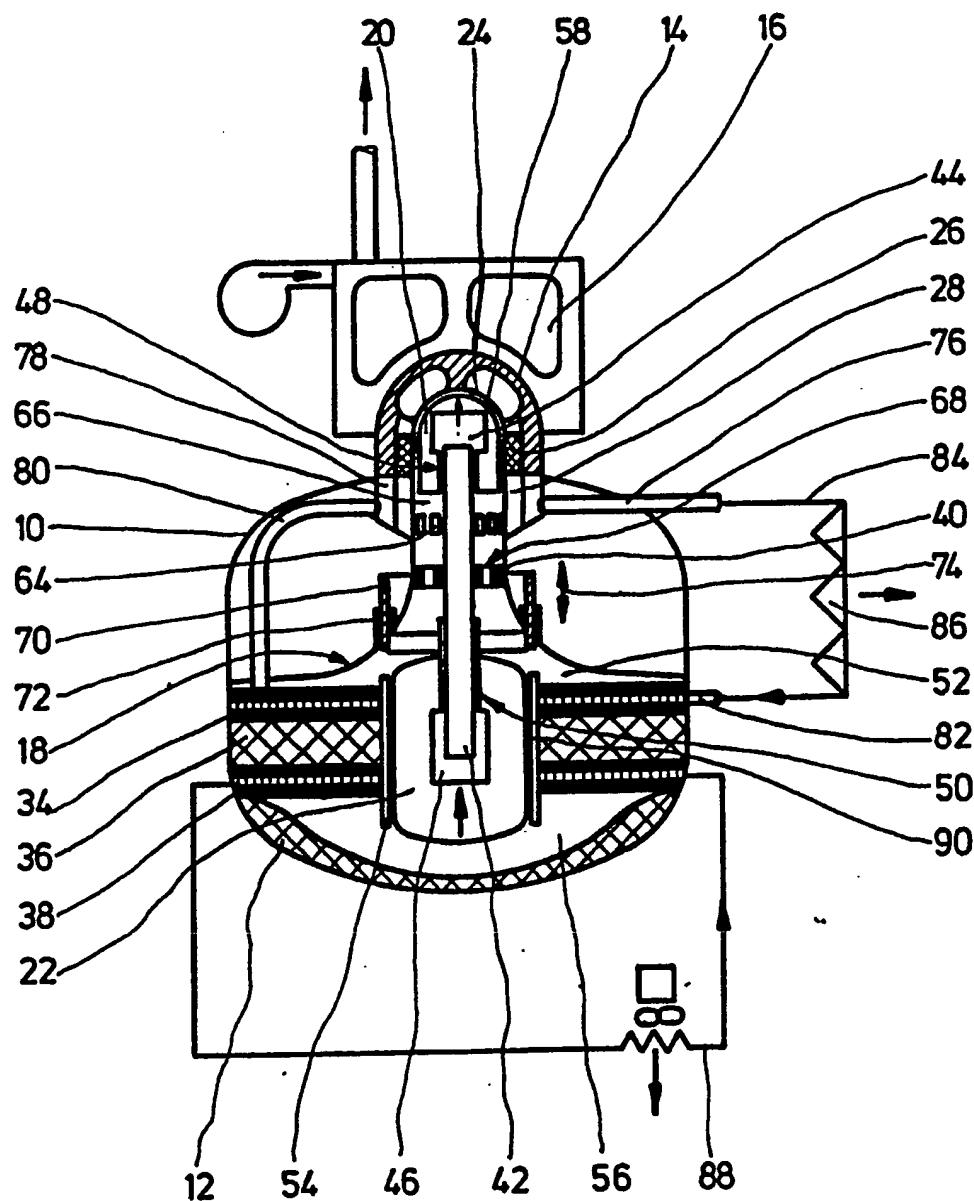
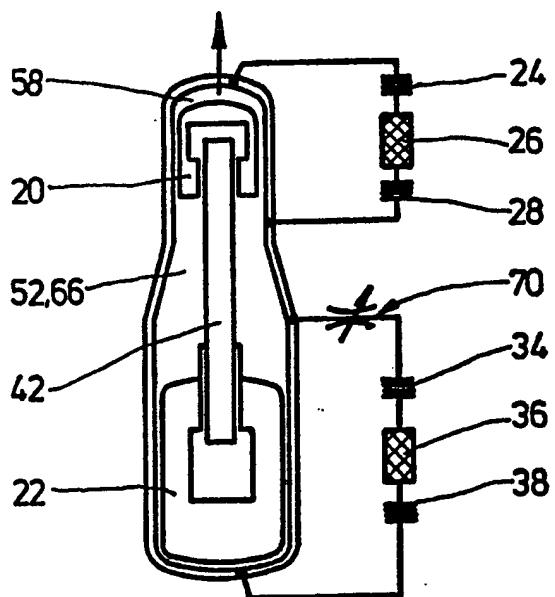
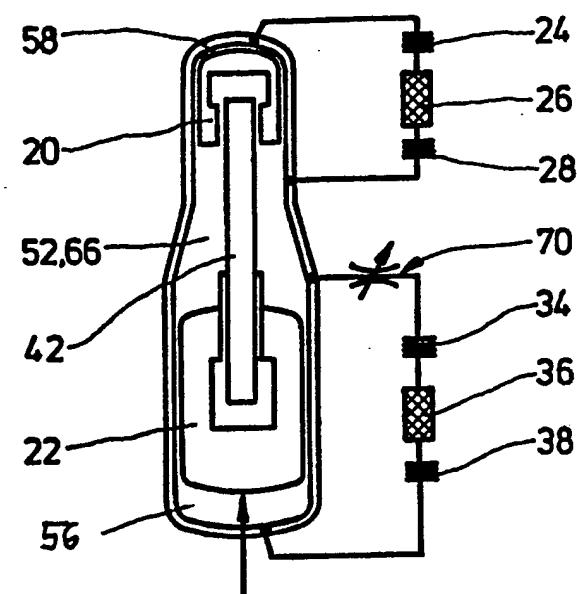


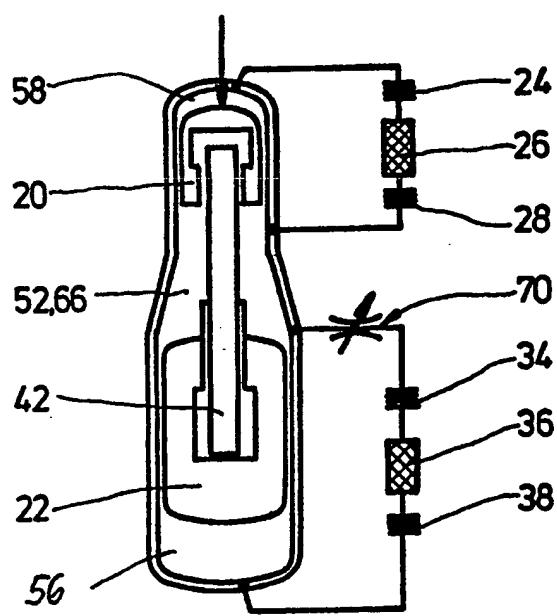
Fig. 1



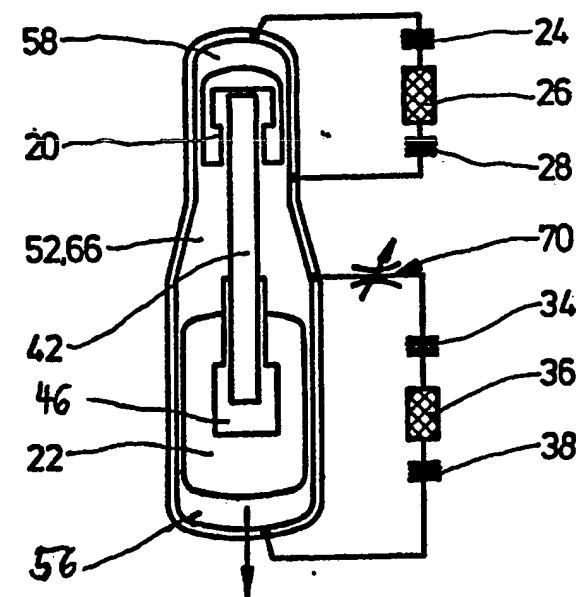
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2

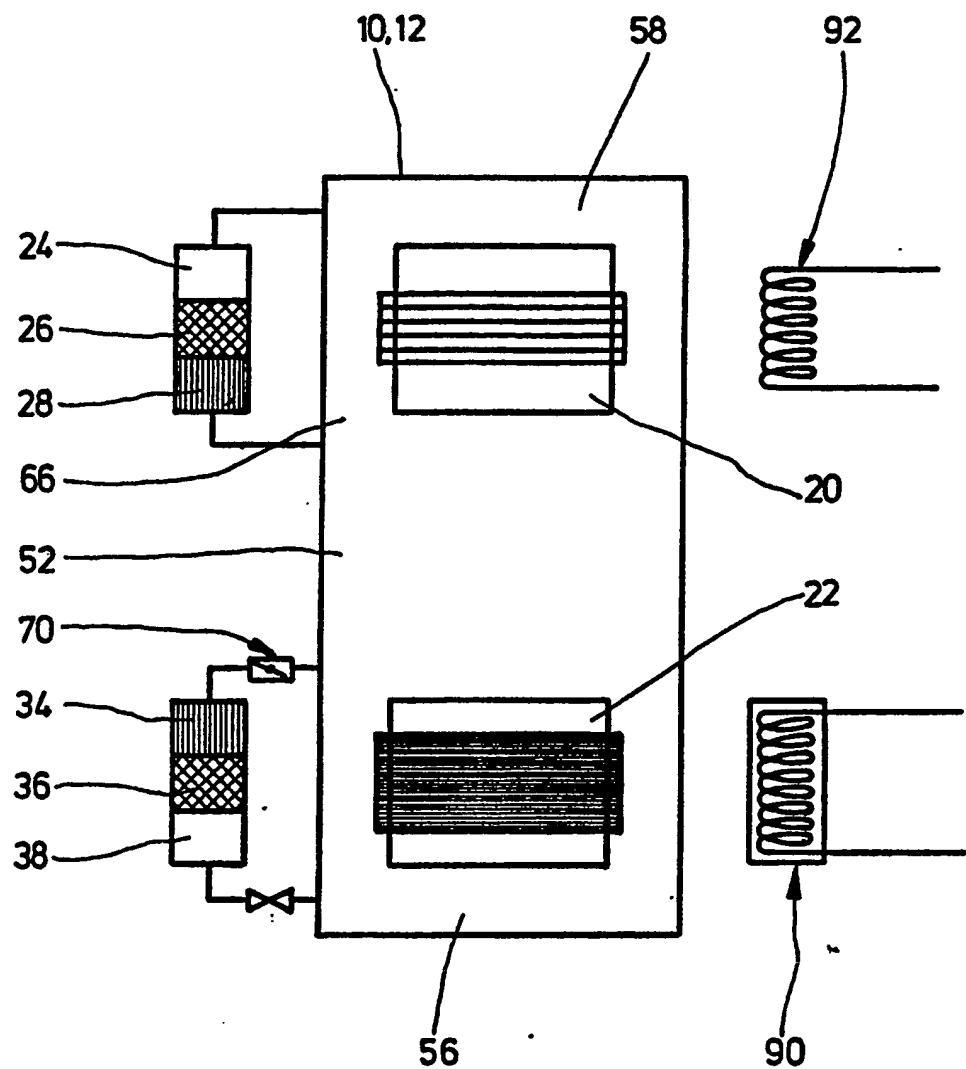


Fig.3